Revista Internacional de
**Ingeniería
de Estructuras**

Vol. 24, 1, 109-121 (2019)

WHAT AN INELASTIC FLAT DERIVA SLIGHTLY HIGHER THAN TWO PERCENT MEANS

Roberto Aguiar[1,2], Fernando Del Castillo[3]

[1]Profesor. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos. rraguiar@espe.edu.ec
[2]Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
[3]Constructora del Castillo, Manta, delcastilloborja@gmail.com

Received: March 2019. Accepted: March 2019

ABSTRACT

The maximum drift of floor permitted by the Ecuadorian Construction Standard of 2015, establishes that the maximum inelastic floor drift is 2%. In this article, the seismic analysis of one of the porticos that suffered the most damage from the ULEAM Parking, during the 2016 earthquake (M = 7.8) and that had maximum floor drift slightly higher than 2%, is performed; It is important to know how the columns of the porticos that had these drifts were, with the purpose of not underestimating the fissures that appear in the structural elements and we think that they are only at the level of coating. For this reason, photos of the same when it was injecting epoxy resin.

On the other hand it presents the criteria that led to the reinforcement of the structure, by cladding with FRP, steel, diagonals of steel and TADAS.

Keywords: Floor drift. Epoxy resin injections

QUE SIGNIFICA UNA DERIVA DE PISO INELÁSTICA LIGERAMENTE SUPERIOR AL DOS POR CIENTO

RESUMEN

La deriva máxima de piso permitida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015, establece que la deriva de piso inelástica máxima sea del 2%. En este artículo se realiza el análisis sísmico de uno de los pórticos que más daño sufrieron del Parqueadero de la ULEAM, durante el terremoto de 2016 (M=7.8) y que tuvo deriva de piso máxima ligeramente superior al 2%; interesa que se conozca como quedaron las columnas de los pórticos que tuvieron esas derivas, con el propósito de que no se subestime las fisuras que aparecen en los elementos estructurales y se piense que solo son a nivel de recubrimiento por esta razón se presentan fotos de las mismas cuando se estaba inyectando resina epóxica.

Por otra parte se presenta los criterios que llevaron al reforzamiento de la estructura, mediante encamisado con FRP, acero, diagonales de acero y TADAS.

Palabras Claves: Deriva de piso. Inyecciones de resina epóxica.

1. INTRODUCCIÓN

La deriva máxima permitida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 es del 2%. La inquietud que surge inmediatamente es saber cómo queda una estructura que ha tenido una deriva de piso ligeramente superior al 2% y sobre todo saber si se puede reforzar a un precio razonable.

El Edificio Fragata, que estaba ubicado en Bahía de Caráquez, tenía 10 pisos, su estructura era de hormigón armado y durante el terremoto del 16 de abril de 2016 (M=7.8) incursionó en el rango no lineal, con una deriva de piso ligeramente inferior al 2%. Era una estructura que se podía reparar y reforzar pero sus propietarios decidieron derrocarlo. (Aguiar, 2017).

Es verdad que para tomar una decisión de reparar y reforzar un edificio a más del coste, se debe tener presente cómo va a quedar el edificio con el reforzamiento. Los autores de este artículo tuvieron varias experiencias en Manta, al respecto, en el sentido de que la mayor parte de propietarios de edificios afectados por el terremoto de 2016, estaban de acuerdo con el reforzamiento siempre que no se lo haga en su departamento o que las fachadas no sean intervenidas.

Otro aspecto para decidir si se refuerza o no un edificio es de tipo legal, especialmente si el edificio está asegurado. En este caso, puede haber propietarios de un departamento que luego del terremoto ya no desean volver a vivir en ese edificio y prefieren recobrar parte de su inversión y olvidarse de la propiedad.

El Ex Parqueadero de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, tuvo una deriva de piso inelástica ligeramente mayor al 2% y ha sido reparada y reforzada. Lo que interesa en este artículo es conocer como quedó la estructura después del terremoto, el grado del daño de sus elementos estructurales.

Pero antes se debe indicar que las columnas perimetrales son de 40/55 cm, y las columnas interiores de 40/65 cm; las vigas son de 40/80 cm, de tal manera que fue diseñada con el criterio de viga fuerte-columna débil, contrario a lo recomendado por las normas sísmicas: columna fuerte-viga débil.

El Proyecto Original del Ex Parqueadero de la ULEAM tuvo deficiencias de diseño, una de ellas es la indicada en el párrafo anterior. (Aguiar y Del Castillo, 2019, 1, 2) pero ha sido reforzada a un costo bajo, en comparación con el costo actual de construcción.

Con el propósito de identificar el estado en que quedaron los elementos estructurales después del terremoto de 2016; en la figura 1, se presenta las líneas resistentes del Edificio del Ex Parqueadero.

El Pórtico que más daño tuvo, durante el terremoto de 2016, fue el Pórtico D, debido a que en el sistema constructivo se generó en todo el pórtico la falla denominada ***columna-corta***. Aguiar y Del Castillo (2019, 1)

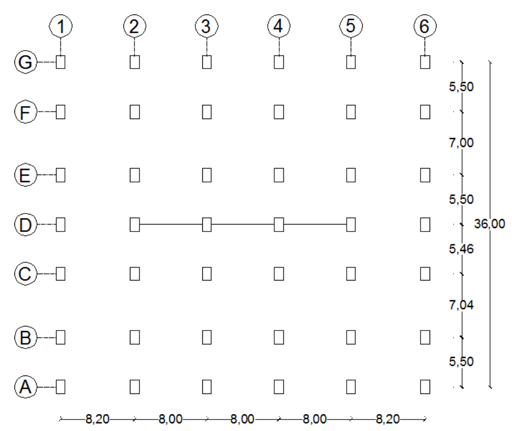


Figura 1 Identificación de los Pórticos y ejes de columnas de edificio de 4 pisos de Hormigón Armado del Ex Parqueadero de la ULEAM

Luego del Pórtico D, el mayor daño se presentó en los Pórticos 2 y 5, que en cierta forma son simétricos; desde un punto de vista riguroso, no son simétricos estos dos pórticos, en el siguiente apartado se presentan fotografías del estado en que quedaron las columnas de estos pórticos.

2. DAÑO EN COLUMNAS DE PÓRTICO 2 Y 5

Las columnas que más daño sufrieron fue la D2, en el nivel 4.59 y la D5 en el nivel 6.24, las dos se hallan en el segundo piso, la diferencia de los niveles se debe a la diferencia de altura de la losa en un piso, por la forma del parqueadero.

Estas dos columnas tienen muy marcado el problema de **columna-corta**, el mismo que se observa en la figura 2 a, para el caso de la columna D2 y en la figura 2 b, para la columna D5.

En el siguiente apartado se verá que la **deriva de piso de** la columna D2 en el nivel 4.59 fue de **2.30%** ante el espectro N-S, obtenido en Manta del terremoto de 2016. Para esta deriva de piso, el estado en que quedó la columna fue el siguiente: i) **Pérdida del recubrimiento de 5 cm,** de espesor en un área considerable, ver figura 2 a; ii) **Numerosas fisuras de menos de 0.5 mm, de espesor y entre 20 y 30 cm, de longitud.** Todas estas se encuentran dentro del núcleo de hormigón; iii) Ligera deformación de armadura longitudinal, que se la ve solo si se mira con detenimiento. Es probable que en la construcción inicial las varillas no colocaron en forma perfectamente vertical.

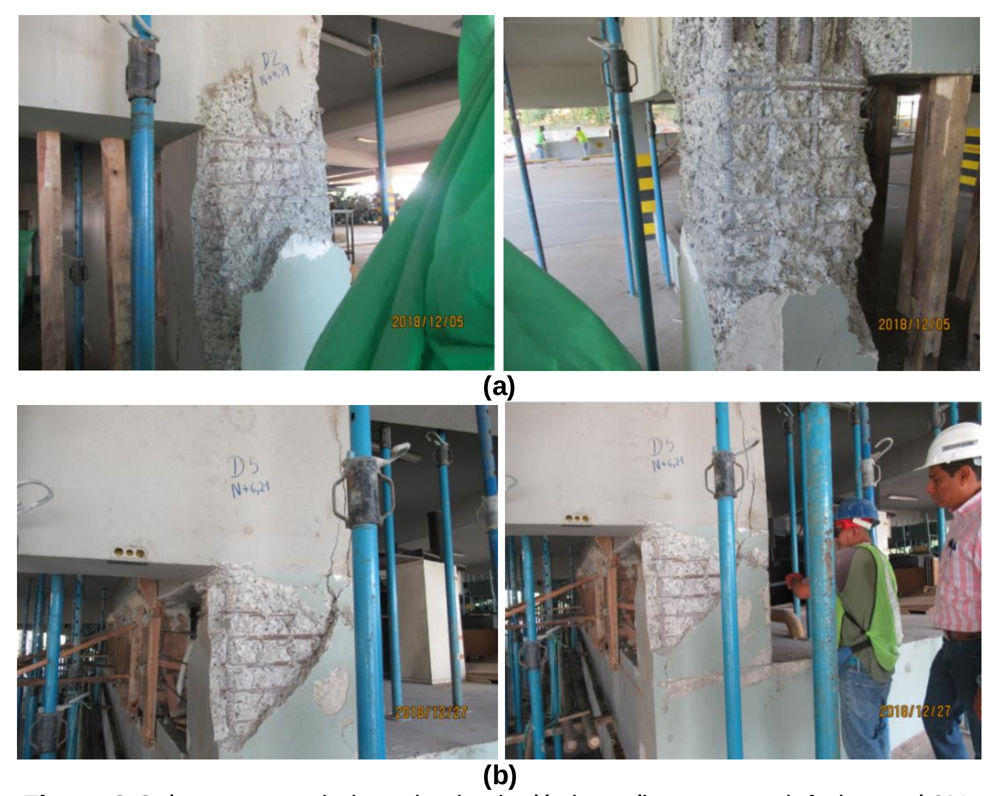


Figura 2 Columnas con derivas de piso inelásticas, ligeramente inferiores al 2%; a) Columna D2 Nivel 4.59; b) Columna D5 Nivel 6.21

3. ANÁLISIS SÍSMICO DE PÓRTICO 2

En el análisis sísmico se consideró la carga muerta $D = 0.96\ ^{T}/_{m^2}$; la carga viva de parqueadero $L = 0.5\ ^{T}/_{m^2}$. Se trabajó con el 25% de la carga viva y un ancho cooperante de 8.10 m, ver figura 3 a, con estos valores la carga uniforme distribuida (igual para todos los pisos, hipótesis de cálculo) es de $8.79\ ^{T}/_{m}$, la misma que se indica en la figura 3 b. Se analizó con un hormigón de $f'_c = 240\ ^{kg}/_{cm^2}$

A la derecha de la figura 3 b, se presenta el modelo numérico de análisis en el que se trabaja con un sistema de 8 grados de libertad, a pesar de que la estructura tiene 4 pisos. Esto se debe a la rampa de la losa que da origen a losas a diferente altura en un mismo piso.

En la figura 4 a, se muestra la respuesta en el Pórtico 2, ante la componente E-W y en la figura 4 b, ante la componente N-S. Con esta última se hallan derivas que superan el 2%, las mismas que se dan entre los niveles 1 y 2 y entre los niveles 3 y 4, que corresponden a los tramos de columna corta del primer y segundo piso. En el tercer piso la deriva de piso es de 1.42% pero ante esta deriva no se observó mayor daño.

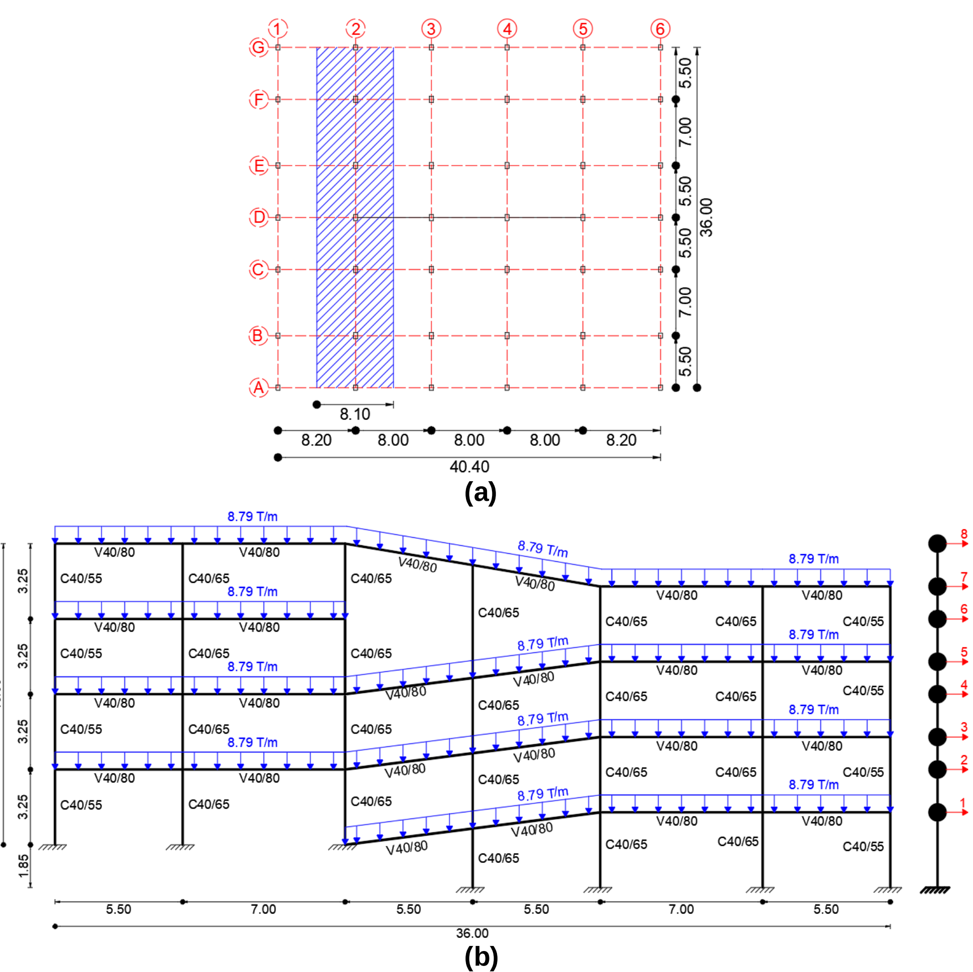


Figura 3 a) Vista en Planta de estructura de Ex Parqueadero; b) Modelo numérico de análisis sísmico con el que se evaluó el comportamiento del pórtico durante el terremoto del 16 de abril de 2016 (M=7.8)

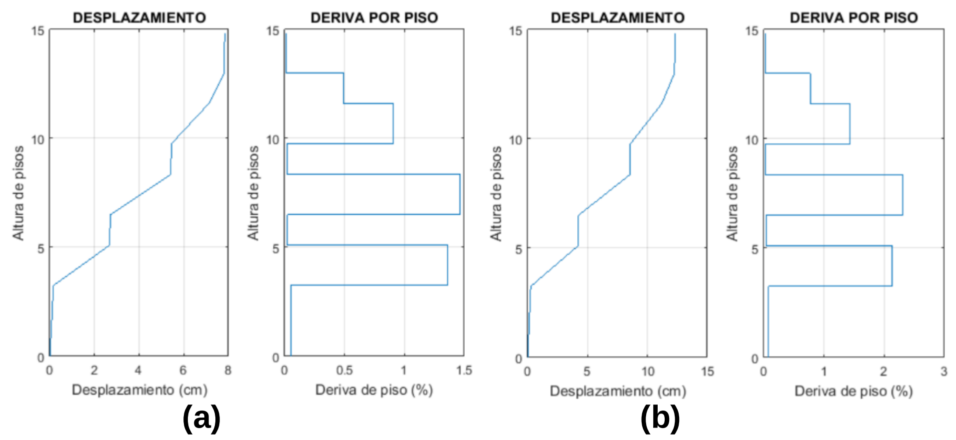


Figura 4 Desplazamientos laterales y derivas de piso; a) Ante componente E-W; b) Ante componente N-S

4. CANTIDAD DE RESINA EPÓXICA UTILIZADA

En la tabla 1, se presenta la cantidad efectiva de resina epóxica utilizada en los Pórticos 2 y 5. Al apreciar la tabla se ve que la columna G5 del Nivel 2.97, es en la que más material se utilizó 3.0 Kg y se puede pensar que esta fue la más dañada, cuando se observó que las más dañadas fueron la D2 y D5. Pero estas tienen menor cantidad de resina; esto se debe a la longitud de las columnas, que son de alrededor de 1 m, en cambio que las otras tienen una altura libre de 2.45 m.

Tabla 1 Cantidad de resina epóxica utilizada en los Pórticos 2 y 5. Fuente: Pinargote (2019)

CANTIDAD DE EPÓXICO INYECTADO EN COLUMNAS								
Columna	NIVEL							
	N+1,35	N+2,97	N+4,59	N+6,21	N+7,83	N+9,45	N+11,07	N+12,69
A2	NR		2,00 kg		0,30 kg		NR	
B2	SE		0,20 kg		0,10 kg		SE	
C2	SE		0,20 kg		SE		0,30 kg	
D2 RAMPA	SE	1,80 kg		2,4 kg		0,60 kg		SE
E2		0,40 kg		0,30 kg		SE		SE
F2		0,60 kg		0,60 kg		SE		SE
G2		0,85 kg		1,00 kg		SE		SE
A5	NR		0,25 kg		SE		SE	
B5	0,25 kg		0,25 kg		0,10 kg		SE	
C5	SE		0,30 kg		SE		SE	
D5 RAMPA	0,25 kg		1,20 kg		0,90 kg		SE	
E5		NR		0,20 kg		SE		SE
F5		0,60 kg		0,5 kg		SE		SE
G5		3,00 kg (DOBLE FRP)		1,20 kg		SE		SE

NR	No se registró
SE	Sin epóxico

Tabla 2 Cantidad de resina epóxica utilizada en los Pórticos 2 y 5 ponderando a la altura libre de 2.45 m.

CANTIDAD DE EPÓXICO INYECTADO EN COLUMNAS								
Columna	NIVEL							
	N+1,35	N+2,97	N+4,59	N+6,21	N+7,83	N+9,45	N+11,07	N+12,69
A2	NR		2,00 kg		0,30 kg		NR	
B2	SE		0,20 kg		0,10 kg		SE	
C2	SE		0,20 kg		SE		0,30 kg	
D2 RAMPA	SE	4,41		5,88		1,47		SE
E2		0,40 kg		0,30 kg		SE		SE
F2		0,60 kg		0,60 kg		SE		SE
G2		0,85 kg		1,00 kg		SE		SE
A5	NR		0,25 kg		SE		SE	
B5	0,25 kg		0,25 kg		0,10 kg		SE	
C5	SE		0,30 kg		SE		SE	
D5 RAMPA	0,6125		2,94		2,205		SE	
E5		NR		0,20 kg		SE		SE
F5		0,60 kg		0,5 kg		SE		SE
G5		3,00 kg (DOBLE FRP)		1,20 kg		SE		SE

Por lo tanto, para poder inferir el grado de daño de las columnas, se debe normalizar el peso de resina epóxica utilizado a 2.45 m. Esto se tiene en la tabla 2. Ahí se aprecia que los valores más altos se presentan en las columnas D2 y D5.

Después, en las que mayores valores de resina se emplearon fueron en la de los ejes A y G. Estos valores pueden servir de referencia para otros Proyectos Estructurales en la etapa de hacer un presupuesto para estimar la cantidad de resina epóxica a inyectar.

Pero no se puede pensar que la resina inyectada en un elemento estructural es debida a que se formaron grietas durante el terremoto; grietas que tienen un afloramiento exterior y también interiormente.

Esto no es cierto ya que un factor fundamental de la cantidad de resina inyectada es el grado de porosidad del hormigón. Si se tiene un hormigón muy poroso ingresará una gran cantidad de resina a pesar de que la estructura no haya sido afectada por un terremoto.

En la Agencia Iñaquito de Produbanco ubicada en el Centro Norte de Quito, frente al Parque La Carolina, en el bloque estructural 2 del piso 8 se empleó 56 kg de resina epóxica solo en llenar las fisuras de las vigas. (Sarzosa, 2019) Se destaca que este edificio no ha soportado ningún terremoto, solo leves sismos. El área de construcción de la planta está alrededor de los 500 m^2

En cambio en el reforzamiento del Parqueadero afectado por el terremoto de 2016 se 60 kg., de resina epóxica. El área total de la construcción es de 6400 m^2 aproximadamente.

El hormigón empleado en el Edificio de Produbanco es muy poroso, esto se lo vio en los cilindros de hormigón que se extrajeron para obtener la resistencia a la compresión. Haro (2018).

De tal manera que una variable fundamental para justificar la cantidad de resina empleada en los elementos estructurales es el grado de porosidad del hormigón utilizado; claro está que el principal factor es el daño sísmico.

5. REFORZAMIENTO DE COLUMNAS DE PÓRTICOS 2 Y 5

En la figura 5 se presenta una vista del Pórtico A; los Pórticos 2 y 5 son perpendiculares a este pórtico cuyas columnas exteriores son la segunda y la quinta. En el primer piso se colocaron diagonales de acero de 250/250/18 mm; en las cuatro esquinas de la estructura, en cada esquina se colocaron diagonales en los pórticos en los dos sentidos.

En la figura 5 a, se observan estas diagonales en forma de "V" invertida en el Pórtico A, con un poco de dificultad se ven las diagonales en los Pórticos 1 y 6. Pero en la figura 5 c, se observan estas diagonales en los Pórticos A y 6. De tal forma que se colocaron diagonales en las cuatro esquinas de la estructura, en el primer piso, con esto se rigidizó notablemente ese piso y en un futuro terremoto va a tener desplazamientos laterales muy pequeños en el primer piso, en los dos

sentidos. La colocación de las diagonales implicó el reforzamiento de la cimentación.

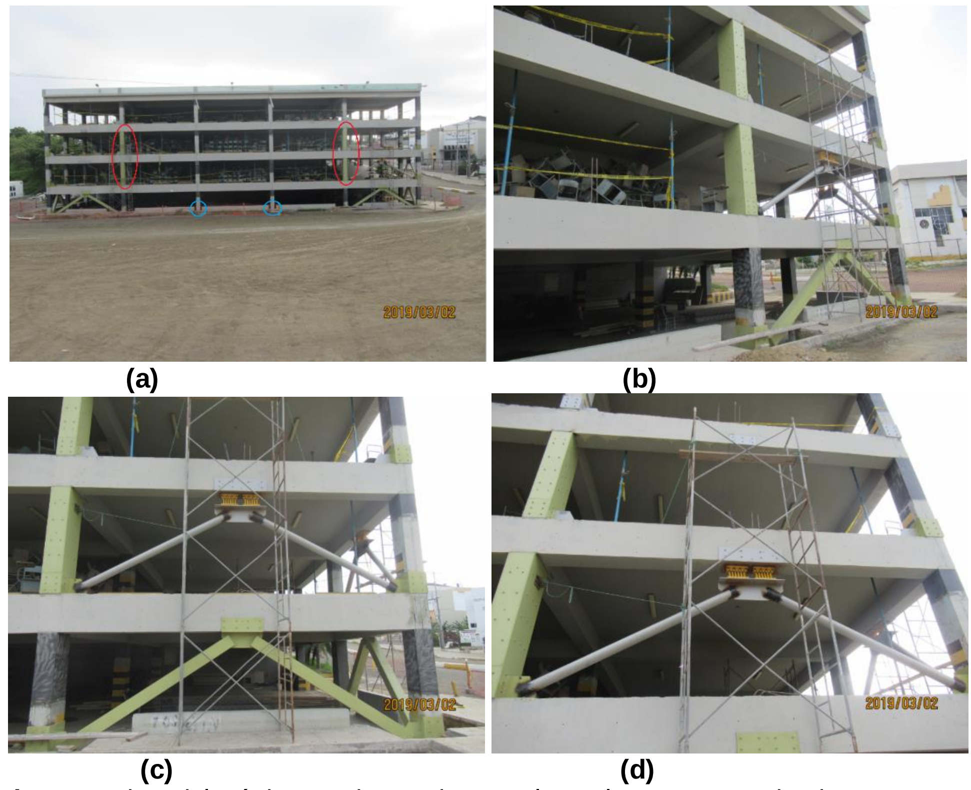


Figura 5 Vista del Pórtico A; a) En rojo se ve las columnas encamisadas con acero del Pórtico 2 y 5; en azul se observa el desacoplamiento de las columnas a los muros perimetrales; b) Encamisado con acero de 10 mm, de espesor de columna de Pórtico 5; c) Reforzamiento con diagonales de acero en Primer Piso y con 2 Disipadores TADAS sobre contravientos circulares en segundo piso; d) Disipadores TADAS sobre contravientos de acero

En el segundo piso, nuevamente en las cuatro esquinas se van a colocar dos disipadores de energía TADAS sobre contravientos de acero circulares de 6'' de diámetro y 11 mm de espesor; en la figura 5 c, se ven los dos disipadores en los Pórticos A y 6; talvez con más claridad se aprecian en la figura 5 d.

En los pisos 3 y 4 también se colocará 1 disipador TADAS sobre los contravientos circulares cuyas dimensiones han sido indicadas, se destaca que en estos pisos se colocará en total 8 disipadores por piso.

Pero el título del apartado es mostrar el reforzamiento de los Pórticos 2 y 5, en el primer piso solo quedan con el encamisado de FRP debido a que las derivas de este piso fueron bajas pero en los pisos 2 y 3 se tuvieron derivas de piso altas, por lo que se encamisó con acero de 10 mm, de espesor las columnas que se muestran dentro de una curva de rojo en la figura 5 a. En la figura 5 b, c y d, se nota este encamisado de acero y de paso se observan los pernos de anclaje utilizado

son de 5/8'' y de 15 cm de profundidad, con espaciamientos entre 20 y 30 cm, en los dos sentidos.



Figura 6 Vista del Pórtico G, y columnas encamisadas con FRP en el primer piso y acero en segundo piso y tercer piso.

En la figura 6 se indica las columnas del Pórtico 2 y 5 que dan al Pórtico G. Nuevamente se ve que las columnas del segundo y tercer piso fueron encamisadas con acero A36 de 10 mm, de espesor y en las columnas del primer piso con FRP. No se piense que el segundo piso tiene mayor rigidez que el primer piso. Esto no es así por las mayores dimensiones de las diagonales de acero conformadas por perfiles rectangulares en el primer piso; en los pisos superiores las diagonales son perfiles circulares, cuyas dimensiones han sido ya indicadas.

En resumen el primer piso solo tiene diagonales de acero en las cuatro esquinas; el segundo piso cuenta con 2 disipadores TADAS colocados sobre diagonales circulares en las cuatro esquinas, en total 16 disipadores; en el tercer y cuarto piso se tiene 1 disipador TADAS sobre diagonales circulares en las esquinas, un total de 8 TADAS en ese piso. En total en todo el Ex Parqueadero se tendrá 32 disipadores TADAS.

Por cierto la parte de la mitad que aparece en la figura 6 corresponde al sitio donde se encontraba la grada exterior se aprecia que tiene una forma curva, luego la mampostería tenía esa forma, para esa geometría era de esperarse que se rompa la mampostería por el impacto de la grada.

Desde luego que la grada tuvo daño estructural pero al ver el conjunto grada-mampostería el daño se veía de grandes dimensiones, para que se haya decidido derrocar. Ahora en ese sitio se piensa construir una nueva grada con un puente en el último piso para comunicarse con otros bloques estructurales que se construirán a la derecha del Ex Parqueadero sobre una pequeña colina.

6. ESTADO EN QUE QUEDARON LAS COLUMNAS

Las fotografías de la figura 7 corresponden al Pórtico A, interesa ver como quedaron las columnas después del terremoto y para ello que mejor que mostrar las fotos que se tomaron al inicio del reforzamiento, en diciembre de 2018, a los 32 meses del terremoto de abril de 2016, en que se tuvieron numerosas réplicas muy fuertes con el agravante de que nunca se colocó puntales en la estructura.

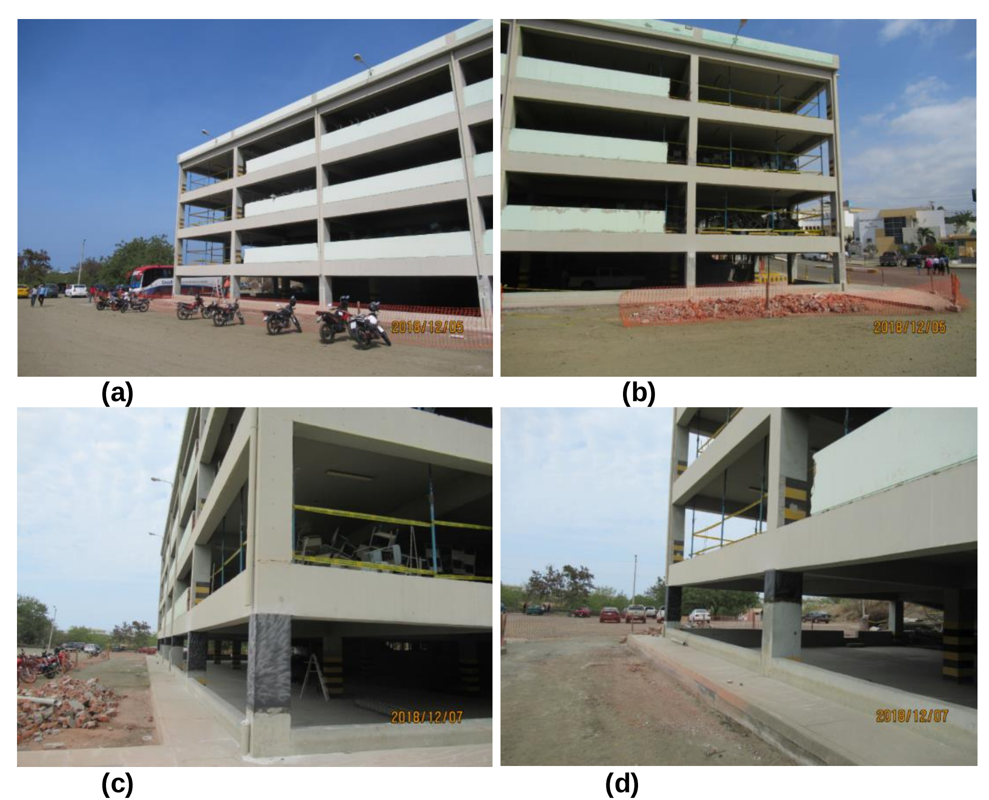


Figura 7 Columnas del Pórtico A, al inicio del reforzamiento. El segundo eje de columnas corresponde de figuras a, b, corresponden al Pórtico 2 y 5; c) Vista lateral de las columnas de Pórtico 5; d) Vista lateral de columnas de Pórtico 2.

Otro aspecto a considerar es que en algunas de ellas ya se han colocado las boquillas para las inyecciones de resina epóxica. Sin embargo de todo ello no se aprecia un daño que pueda decirse que es considerable, solo se ven fisuras y esto es fundamental que el lector tenga presente ya que muchas veces se ven esas fisuras y se piensa que solo son a nivel de recubrimiento y no se les presta atención. Que error más grande que se comete ya que tienen daño, con lo que disminuye su capacidad sísmica.

En la figura 8, se presenta la columna G5, en el nivel 2.97, donde se empleó 3 Kg, de resina (Ver Tabla 1) Antes de continuar es importante destacar que la gente encargada de las inyecciones primero agrandan un poco más las fisuras, colocan las boquillas y rellenan los sitios entre boquillas para que el material que se inyecta no salga por esos sitios. Con todo esto interesa ver en la figura 7 que no hay un

daño como pérdida de recubrimiento, peor aún que se vea la armadura. No se dio esto, lo que se tuvo fueron fisuras de menos de 1 mm, de espesor.



Figura 8 Inyecciones de resina epóxica en columna G5, Nivel 2.97 se empleó 3 Kg

En la columna G5, indicada en la figura 8, se inyectó resina en una cara y salía en la otra por eso en la fotografía de la derecha aparece en la parte inferior la resina que salió.



Figura 9 Inyecciones de resina epóxica en columna A2, Nivel 4.59 se empleó 2 Kg

En la columna A2, Nivel 4.59 se tenía preparadas 3 caras para inyectar la resina, no se preparó la cuarta cara porque se suponía que las fisuras eran muy

finas pero al inyectar la resina empezó a salir el material por la cara que no prepararon. En esta columna se utilizó en total 2 Kg, de resina epóxica y las fotografías son las indicadas en la figura 9. Nótese la gran cantidad de material desperdiciado.

7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Durante el terremoto del 16 de abril de 2016 (M=7.8) la estructura del parqueadero de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí tuvo una deriva de piso inelástica ligeramente superior al 2%, analizada con un modelo espacial de 3 grados de libertad por planta.

En este artículo se realiza un análisis sísmico plano del Pórtico 2, que fue uno de los más dañados y se ve que la deriva de piso máxima es del orden de 2.3%. Ahora interesa que el lector vea como quedaron las columnas de este pórtico luego del terremoto. Se destaca que no hubo daño en las vigas, ya que fue diseñado con el criterio de viga fuerte-columna débil.

El daño registrado en las columnas de los pórticos que tuvieron derivas de piso del 2% se limita a fisuras cuyo ancho es del orden de 1 milímetro y que a simple vista se podía pensar que son solo superficiales pero al momento de repararles con inyecciones epóxicas se vio en algunas columnas que el material se inyectaba por una de las caras y salía por la opuesta o por la adyacente.

Claro está que en las columnas que más daño sufrieron hubo desprendimiento del recubrimiento y una gran cantidad de fisuras con un espesor menor a 1 mm, en el núcleo del hormigón, de tal manera que estas son las que estrictamente tienen derivas de piso del 2%

Por otra parte se indican los criterios con los cuales se realizó el reforzamiento de la estructura. En el primer piso se colocaron diagonales de acero en los vanos de los pórticos esquineros, con esto se rigidizó notablemente el piso. No se puede realizar el mismo procedimiento en los pisos superiores debido a que conduciría a reforzar los nudos por esta razón se reforzó con disipadores de energía sobre diagonales de acero circulares de menor dimensión de las diagonales cuadradas del primer piso y se encamiso con acero las columnas de los pórticos más afectados.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., Del Castillo F., (2019), “Primeros trabajos en el reforzamiento sísmico de parqueadero de la ULEAM”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **24 (1)**, 1-32.
2. Aguiar R., (2018), “Análisis de disipadores TADAS utilizados en reforzamiento de Hospital Rodríguez Zambrano de Manta”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **23 (1)**, 1-28.
3. Aguiar R., (2017), “No se acepta el diseño por ductilidad. Caso del Edificio Fragata que incursionó en el rango no lineal”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22 (3)**, 327-391.
4. Haro J., (2018) *Extracción de hormigones de columnas de la Agencia Iñaquito de Produbanco.* Consultoría para Inmocasa.

5. Pinargote J. C. (2019) *Cantidad de Resina Epóxica empleada en los Pórticos 2 y 5 de Parqueadero de la ULEAM.* Constructora Del Castillo Borja.
6. Sarzosa C., (2019) *Cantidad de resina epoxica empleada en el piso 8 del Bloque Estructural 2 de la Agencia de Iñaquito de Produbanco.* Información enviada. Inmocasa.